

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2009

Jan Mojžíšek

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Měření vypínacích charakteristik digitální ochrany vedení
Switching-off Characteristic Measurement of Microprocessor
Line Protection

2009

Jan Mojžíšek

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 7.5.2009

Podpis:.....

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu Doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za poskytnutí rad, připomínek a literatury.

Abstrakt

V této práci je proveden teoretický rozbor ochran a jejich dělení. Dále je zde uveden popis nadproudové ochrany vedení a její nastavení. Poté se zabývá digitální ochranou SPAD 346 C a je zde zpracována kontrola vypínacích charakteristik na modulu SPCJ 4D28 a zhodnocení naměřených výsledků.

Klíčová slova

digitální ochrana vedení SPAD 346 C, vypínací charakteristika, časově nezávislá charakteristika, časově závislá charakteristika.

Abstract

The work is carried out theoretical analysis of protection and their division. There is description of overcurrent protection and their settings. Then deals with digital protection SPAD 346 C and a processed control switching-off characteristic on the module SPCJ 4D28 and evaluate the measured results.

Key words

Microprocessor line protection SPAD 346 C, switching-off characteristic, time-independent characteristic, time-dependent characteristic

Seznam použitých symbolů a zkratek:

Δa	absolutní chyba	
δ	relativní chyba	(%)
U	napětí	(V)
Z	impedance	(Ω)
I_N	jmenovitý proud	(A)
U_N	jmenovité napětí	(V)
U_{PN}	jmenovité napájecí napětí	(V)
I	proud	(A)
I_{2r}	rozběhový proud	(A)
I_{kmax}	maximální zkratový proud	(A)
I_{kmin}	minimální zkratový proud	(A)
$t_{nam.}$	čas změřený stopkami	(s)
t_{teor}	teoretický čas(vypočtený)	(s)
p	přesnost elektrické ochrany	(%)
MTP	měřicí transformátor proudu	
QM	výkonový vypínač	
ES	elektrizační soustava	
A/D	analogově/digitální převodníky	
AND	logika funkce součtu	
OR	logika funkce součinu	
NOT	logika funkce negace	
RČ	rozběhový člen	
ČČ	časový člen	
KČ	koncový člen	
F1	místo poruchy	

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	5
Obsah	6
Úvod.....	7
1. Teoretický rozbor ochran a jištění	8
1.1 Rozdělení elektrických ochran.....	8
1.2 Základní požadavky na elektrické ochrany.....	9
1.3 Základní pojmy oboru ochran	11
1.4 Základní členy ochran	12
2. Nadproudové ochrany vedení a jejich nastavení	14
2.1 Nadproudová ochrana vedení	14
2.2 Výpočet nastavení rozběhových proudů na nadproudových nezávislých ochranách	15
2.2.1 Výpočet a nastavení rozběhových proudů zkratových ochran pro venkovní a kabelové vedení (zkratové ochrany)	15
2.2.2 Výpočet nastavení rozběhových proudů ochran působících při proudovém přetížení	16
3. Digitální ochrana SPAD 346 C.....	17
3.1 Aplikace	17
3.2 Popis funkce.....	17
3.3 Kombinovaný modul nadproudové ochrany a ochrany pro zemní poruchy SPCJ 4D28	17
3.4 Vypínací charakteristiky nadproudové ochrany	20
3.5 Provozní indikátory.....	22
3.6 Technické data	24
4. Kontrola charakteristik modulu SPCJ 4D28.....	25
4.1 Proudově závislé charakteristiky	26
4.2 Normálně závislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany	27
4.3 Velmi závislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany	28
4.4 Extrémně závislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany.....	29
4.5 Dlouhodobě závislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany.....	30
4.6 Nezávislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany.....	31
5. Zhodnocení naměřených výsledků	32
Závěr	33
Použitá literatura	34

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá měřením vypínacích charakteristik digitální ochrany vedení a rozbořem elektrických ochran celkově. Nadproudové ochrany mají za úkol zabezpečit spolehlivost a bezpečnost při vzniku zkratů a poruch.

Postupem času se provoz elektrizační soustavy modernizuje a zastaralé elektromechanické ochrany jsou nahrazovány digitálními ochranami. Tato obměna má za úkol zvýšit spolehlivost elektrizační soustavy. Mezi výhody digitálních ochran patří především jejich přesnost, rychlost působení, selektivita, citlivost a v neposlední řadě komfort pro obsluhu.

V první kapitole se tato práce zabývá teoretickým rozbořem ochran, jejich rozdělením, požadavky kladené na ochrany, základními pojmy v oboru ochran a jejich základními členy. Následující kapitola popisuje digitální ochrany a jejich nastavení. Ve třetí kapitole se zaměřuji již na určitý typ ochrany a to na digitální ochranu SPAD 346 C. Je zde také uveden popis její funkce a v jaké oblasti se může ochrana používat. Mimo jiné je zde popsán i modul nadproudové ochrany SPCJ 4D28. Ve čtvrté kapitole se zabývám kontrolou vypínacích charakteristik na modulu SPCJ 4D28. Jsou zde uvedeny teoretické časy odpojení ochrany, jejich skutečné hodnoty, relativní chyba ochrany a grafy pro znázornění odchylky. V poslední páté kapitole je uvedeno zhodnocení naměřených výsledků.

1. Teoretický rozbor ochran a jištění

Ochrana je zařízení, které kontroluje chod a zajišťuje provozní bezpečnost a spolehlivost určité části energetické soustavy (alternátoru, transformátoru, vedení atd.). Pomocí přístrojových transformátorů proudů a napětí, popřípadě dalších čidel, získává informace o jednotlivých veličinách chráněného objektu. Tyto informace jsou ochranou zpracovány a vyhodnocovány, zda se chráněný objekt nachází v normálním pracovním stavu, nebo jde o poruchu. V případě poruchy zamezuje ochrana havárii chráněného objektu (vypnutím, odbuzením atd.) a zároveň také vysílá signál pro obsluhu. Obsluha nastavovat parametry ochran, např. měnit její citlivost nebo časové zpoždění.

1.1 Rozdělení elektrických ochran

- a) Podle druhu poruchy, které mají identifikovat:
 - Zkratové
 - Při přetížení
 - Napětíové
 - Podpětíové
 - Při zemním spojení
 - Při zpětným výkonu
 - Při ztrátě buzení
 - Při nesymetrii (proudu a napětí)
 - Frekvenční
- b) Podle principu činnosti ochrany dělíme na:
 - Proudové
 - Distanční
 - Napětíové
 - Porovnávací
 - Wattové
 - Reaktanční
 - Frekvenční
 - Při nesymetrii
- c) Podle času působení rozdělujeme elektrické ochrany na:
 - Okamžité působení
 - Časově nezávislé
 - Časově závislé

Vývoj elektrických ochran můžeme rozdělit do následujících základních třech etap:

- Klasické elektromechanické ochrany
- Elektronické ochrany
- Digitální ochrany

1.2 Základní požadavky na elektrické ochrany

Elektrické ochrany jsou složité technické zařízení, které jsou důležitou součástí elektrizační soustavy. Kladou se na ně následné požadavky:

- **Spolehlivost funkce elektrické ochrany** – je definována jako schopnost vykonávat operace podle daného algoritmu elektrické ochrany ve stanoveném čase a požadovanými parametry a splnit všechny technické podmínky z pohledu chráněného objektu.

Vysoká spolehlivost funkce chránění může být zabezpečena např.:

- vysokou technickou kvalitou všech komponentů (elektrických ochranných přístrojových transformátorů, zdroje napětí pomocných obvodů ochrany, komunikačních kanálů, vypínačů a jejich mechanismů a všech vnitřních propojení mezi těmito částmi),
 - optimální konstrukcí schéma chránění (např. zabezpečení chránění zdvojením ochranných zařízení pro některé důležité části ES),
 - nepřetržitou autokontrolou jednotlivých obvodů a funkčních celků ochrany atd.
- **Jednoduchost** – čím jednodušeji je ochrana sestavena, tím je i menší pravděpodobnost její poruchy
 - **Odolnost** – v energetickém provozu je mnoho vlivů, které působí na ochranu a tím jí mohou poškodit. Mezi tyto vlivy patří např. otřesy, magnetické a elektrické pole, prašnost, agresivní plyny atd.
 - **Životnost ochrany** – s opotřebením se její životnost zmenšuje. Čím více pohyblivých částí má ochrana, tím se snižuje její životnost.
 - **Minimalizace ochrany** – výrobci se snaží ochrany zmenšovat a tím i šetřit prostor, který ochrany zabírají.
 - **Selektivita** – schopnost elektrické ochrany vypnout pouze poškozenou část ES tak, aby zařízení bez poruchy zůstaly nerušeně nadále v provozu. Tato podmínka může být zabezpečena jednou z níže uvedených metod:
 - časovým odstupňováním, tj. elektrická ochrana nejbližší k místu poruchy působí nejrychleji a všechny ostatní ochrany působí postupně s nastaveným časovým zpožděním. Časové zpoždění je pevně dané nebo čas je daný inverzně ve vztahu k poměru zkratového proudu (aplikované v nadproudových a impedančních ochránách),
 - amplitudové nebo fázové porovnávání proudů na obou koncích chráněného úseku (aplikované v rozdílových a porovnávacích ochránách),
 - určení směru toku výkonu po dobu poruchy na obou stranách chráněného úseku porovnáváním odvedených signálů (aplikované v směrových porovnávacích ochránách a distančních ochránách s komunikačním kanálem),
 - kombinace výše uvedených metod, které vedou k snížení vypínacích časů.

- **Rychlost působení elektrické ochrany** – je čas působení elektrické ochrany od identifikace poruchy až po vyslání vypínacího povelu na výkonový vypínač.

Časy působení elektrických ochran:

- pro elektromechanické ochrany jsou minimální časy působení 40 až 60 ms,
- pro elektronické ochrany je čas působení od 10 do 60 ms,
- pro digitální ochrany je čas působení 40 až 50 ms. Jeho skutečná hodnota závisí od použitého výpočtového programu a technického vybavení ochrany,
- vlnové ochrany do 5 ms.

Z důvodu spolehlivé identifikace poruchy je tendence zpomalovat činnost ochran. Časy působení ochran jsou závislé na jejich konstrukci.

Nejrychlejší čas vypnutí poruchových stavů, např. zkratů, je potřebné vykonat z následujících důvodů:

- zachování dynamické stability ES,
 - zmenšení rozsahu poškození zařízení,
 - zkrácení času životnosti spotřebičů při sníženém napětí v neporušených částech ES,
 - zmenšení nebezpečí úrazu osob nacházejících se v blízkosti poškozených zařízení.
- **Citlivost** – je definována jako nejmenší hodnota stavové veličiny, při které ochrana spolehlivě působí. Jde o schopnost ochrany reagovat na poruchy i bezvýznamného narušení normálního provozu. Proto je pro zaručení bezpečnosti elektrická ochrana nastavena na nižší hodnotu stavové veličiny než je hodnota při poruchovém stavu.

Naopak, jsou situace, kdy je požadavek, aby elektrická ochrana zůstala necitlivá, tj. nepůsobila, např. při přechodných jevech v ES nebo při poruchách v těch částech ES, které nejsou v její zóně chránění.

- **Přesnost** – je dána vztahem

$$p = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| \cdot 100[\%]$$

Kde p je přesnost elektrické ochrany,

- x – nastavená citlivost ochrany,
- x_a – rozsah možného nastavení ochrany,
- x_b – skutečná citlivost ochrany.

1.3 Základní pojmy oboru ochran

Citlivost ochrany je velikost měřené veličiny (vstupu ochrany $y(t)$), na kterou je ochrana nařízena a při které působí.

Nařiditelnost ochrany je rozsah všech hodnot měřené nebo stavové veličiny, na které lze nastavit citlivost ochrany.

Přidržený poměr ochrany je poměr velikosti stavové veličiny při návratu ochrany (odpadnutí) k velikosti stavové veličiny při rozběhu (náběhu) ochrany.

Rozlišovací schopnost je schopnost ochrany rozeznat dva blízké stavy objektu, které se liší o Δx , z nichž jeden je poruchový a druhý ne. Minimální velikost Δx , kterou ochrana rozliší, nazýváme rozlišovací schopností ochrany.

Doba působení ochrany je časový úsek mezi vznikem poruchy a signálem na výstupu ochrany $v(t)$.

Absolutní chyba je definována jako rozdíl mezi naměřenou a skutečnou hodnotou

$$\Delta a = N_{nam} - S_{sk} ,$$

N_{nam} - naměřená hodnota
 S_{sk} - skutečná hodnota

Přetížitelnost ochrany je maximální velikost vstupní veličiny, která působí definovanou dobu a ještě neohroží životnost ochrany.

Spotřeba ochrany je příkon potřebný pro provoz ochrany. Je udána samostatně pro vstupy ochrany a pro pomocné napájecí obvody ochrany.

Jmenovité hodnoty ochrany:

- jmenovitý proud I_n znamená jmenovitý proud vstupních obvodů ochrany (1A nebo 5A).
- jmenovité napětí U_n udává jmenovité napětí vstupních obvodů ochrany (např.100V).
- jmenovité napájecí napětí U_{pn} je nejčastěji stejnosměrné, ale používá se také střídavé

Primární ochrana je to ochrana která pracuje bez přístrojových transformátorů, tj. proud a napětí jsou přivedeny přímo z objektu.

Sekundární ochrana je připojena k objektu přes přístrojové transformátory.

Prvek je to stavební díl ochrany, např. tranzistor, relé, transformátor atd.

Člen ochrany je soubor více prvků ochrany, které tvoří samostatný funkční celek. Např. vstup nebo časový.

Blokování ochrany je činnost ochrany, která je podmíněna funkcí jiného přístroje.

Základní ochrana je určena pro všechny druhy poruch. Je to vybavení objektu ochranou.

Záložní ochrana je vedlejší vybavení ochranou. Je vhodné zpozdít její působení proti základní ochraně, aby měla základní možnost působit přednostně.

Výstup ochrany je soubor veličin, kterými působí ochrana na objekt.

Signál je veličina ochrany, kterou působí na obsluhu elektrického zařízení, nebo na nadřazený řídicí signál.

Algoritmus ochrany je popis funkce ochrany, vztahy mezi vstupy a výstupy. Určuje, jakým způsobem působí ochrana na chráněný objekt.

1.4 Základní členy ochran

Ochrana se skládá z několika částí. Jejich počet a druh závisí na typu ochrany. Mezi základní části patří:

Vstupní člen

Úlohou vstupního členu je převést kontrolovanou veličinu na zpracovatelný tvar a požadovanou úroveň dalších částí tak, aby pracovaly na úrovni voltů a miliampérů. Tím se přispívá k miniaturizaci dalších členů ochrany. Galvanicky odděluje vnitřní obvody a chrání je proti elektromagnetickému rušení. Jmenovité vstupní hodnoty ochran jsou 100V, 5A nebo 1A. Tyto veličiny jsou přivedeny na svorky ochrany z přístrojových transformátorů proudu a napětí.

Rozběhový (popudový) člen

Úlohou popudového členu je uvést ochranu do činnosti při vzniku poruchy. Rozběhový člen musí mít co nejvyšší citlivost na kontrolovanou veličinu, aby se zabezpečila spolehlivost ochrany jako celku. Dává informaci měřicímu členu a logice, čím se zabezpečí působení koncového členu.

Měřicí člen

Na jeho vstup je přiveden stav objektu. Měřicí člen určuje charakteristiky ochrany mezi poruchovým a normálním stavem. Na měřicím členu závisí většina vlastností elektrické ochrany, např. selektivita, citlivost a přesnost.

Logika

Na základě signálu z měřicího a časového členu logika určuje činnost koncového členu. Všechny vstupy a výstupy z logiky jsou buď logické jedničky nebo nuly, proto je struktura logiky tvořena základními logickými funkcemi Boolovy algebry:

$$\text{AND} \qquad A \cdot B \qquad (1)$$

$$\text{OR} \qquad A + B \qquad (2)$$

$$\text{NOT} \qquad \overline{A} \qquad (3)$$

Logické obvody mohou být realizované pomocí klasického relé, diodami, tranzistory, integrovanými obvody nebo technickým a programovým vybavením u digitálních ochran.

Časový člen

Časový člen ovlivňuje čas působení elektrické ochrany, tj. zabezpečuje úmyslné časové zpoždění ochrany. Zpoždění působení ochrany se vyžaduje v těchto případech:

- zajištění selektivního vypínání
- ponechání akumulace energie, např. dovolené přetížení chráněného objektu
- vyloučení chybného působení ochrany při přechodných proudových jevech krátkého trvání

Koncový člen

Je obvyčejné klasické elektromagnetické relé s výkonovými kontakty. Jeho úlohou je přivést napětí na jednu z dvou ovládacích cívek výkonového vypínače. Kontakty výstupních obvodů koncového členu musí mít dostatečnou proudovou zatížitelnost a odolnost proti vnějšímu rušení.

Napájecí člen

Napájecí člen napájí obvody dílčích částí ochran, které pro svou činnost potřebují pomocný zdroj energie. Obvody ochran mohou být napájeny těmito způsoby:

- Ochrany bez napájení - nepotřebují pomocný napětí.
- Ochrany napájené ze staniční akumulátorové baterie - nejčastější napájení ochran.
- Napájení z přístrojových transformátorů - používá se jen u ochran, kde není k dispozici staniční baterie.
- Napájení ze střídavé sítě (z vlastní spotřeby elektrické stanice) - pro nižší spolehlivost se tento způsob nepoužívá.

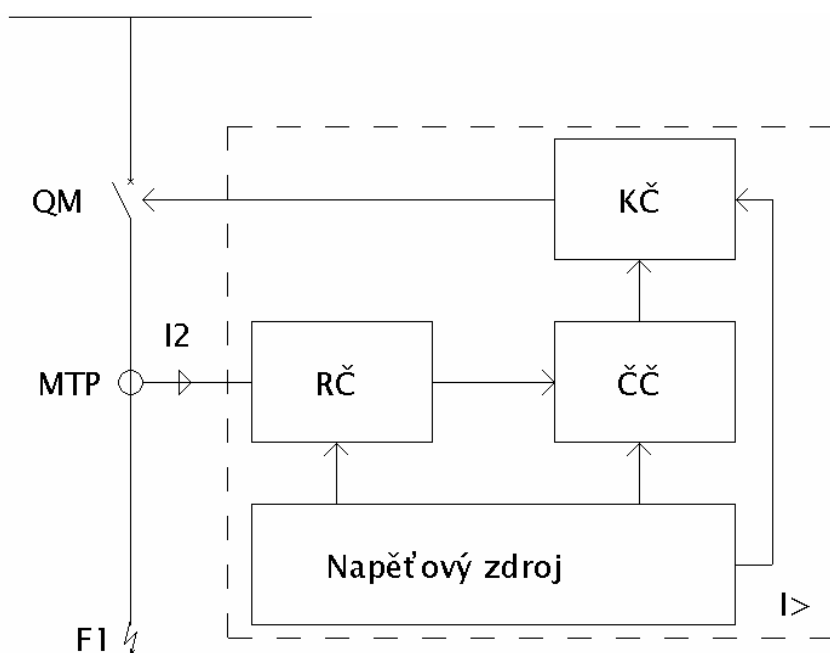
2. Nadproudové ochrany vedení a jejich nastavení

2.1 Nadproudová ochrana vedení

Jako hlavní ochrany se v distribučních vn sítích a v rozvodných průmyslových podnicích používají nadproudové ochrany. Časová selektivita se v takových sítích dosahuje pomocí odlišného proudového nastavení a časovým odstupňováním jednotlivých ochran. Ochrana, podle použití, působí při proudovém přetížení nebo zkratu. Typ charakteristiky pro proudové přetížení se může zvolit závislý nebo nezávislý. Pro zkratové ochrany se používají zejména nezávislý typ vypínací charakteristiky.

Nadproudová ochrana reaguje na překročení nastavené sekundární hodnoty rozběhového proudu I_{2r} na ochraně. K překročení rozběhového proudu I_{2r} dojde důsledkem vzrůstu proudu v chráněné části vedení. Principiální blokové schéma sekundární nadproudové nezávislé nesměrové ochrany je zobrazené na obr.2.1.

Skládá se z rozběhových členů RČ, časového členu ČČ a koncového členu KČ. Rozběhové členy jsou zařazené do jednotlivých fází sekundárních obvodů jisticích transformátorem proudu a teda k činnosti potřebují sekundární střídavý proud I_2 . časový a koncový člen k svojí činnosti potřebují pomocný zdroj stejnosměrného napájení (závislé na konstrukčním provedení ochrany).



Obr.2.1 Blokové schéma nadproudové nezávislé nesměrové časové ochrany

Sledujme činnost nadproudové ochrany podle obr.2.1. V důsledku vzniku poruchy F1 na vývodu vedení dojde k vzrůstu proudu I_2 na sekundární straně měřicího transformátoru proudu. Jelikož tento poruchový proud překročí hodnotu nastaveného rozběhového proudu I_{2r} aspoň v jedné fázi rozběhového členu RČ, uvede tak do činnosti časový člen ČČ. Časový člen po odpočítání nastaveného času uvede do chodu koncový člen KČ. Ten uzavře obvod vypínací cívky výkonového vypínače a ten následně vypne poruchu F1. vypnutím poruchy F1 se poruchový proud přeruší a obvody ochrany se vrátí do počátečního stavu. Z toho je jasné, že na každém rozběhovém členu ochrany je potřebné nastavit velikost rozběhového proudu I_{2r} a na časovém členu časové zpoždění.

2.2 Výpočet nastavení rozběhových proudů na nadproudových nezávislých ochranách

Pro správné nastavení rozběhových proudů I_r vývodu vedení potřebujeme znát proudové poměry, především hodnoty zkratových proudů, velikost dovolených proudů při zatížení, jmenovitý proud. Velikosti zkratových proudů při té samé konfiguraci sítě, mohou být v různých časech provozu různě velké. Velikost zkratových proudů závisí na výkonu zdrojů, které v daném okamžiku dodávají do soustavy. Z tohoto důvodu potřebujeme znát maximální I_{kmax} a minimální zkratový proud I_{kmin} , který se může v místě zabudování ochrany.

Při výpočtu maximálního zkratového proudu je potřebné vzít do úvahy nejnepríznivější poměry v chráněné soustavě, tedy předpokládat chod všech generátorů, transformátorů, vedení, nejnepríznivější místo zkratu, maximální budící napětí na blízkých generátorech apod. naopak při výpočtu minimálního zkratového proudu je potřebné uvažovat se vznikem zkratu v čase, kdy v síti pracuje minimální počet zdrojů, v čase nejmenšího zatížení soustavy, např. noc, státní svátky apod. Na určení těchto proudů je potřeba znát pracovní schéma sítě, na které se provede nastavení ochrany. Toto nastavení ochrany musí zabezpečit selektivní vypnutí všech typů poruch. Při změně sítě je potřebné prověřit dané nastavení ochrany zda vyhovuje. V případě, že dosavadní nastavení ochrany nezabezpečuje selektivní vypnutí všech typů poruch, musí se provést nový návrh a ochrany se musí přenastavit.

2.2.1 Výpočet a nastavení rozběhových proudů zkratových ochrany pro venkovní a kabelové vedení (zkratové ochrany)

Rozběhová hodnota proudu se vypočítá:

$$I_{2r} \geq \frac{k_b}{k_n \cdot k_t} \cdot I_{zn}$$

kde: k_b je koeficient bezpečnosti (volí se 1,1 až 1,35),
 I_{zn} – nejvyšší dovolený proud zatížení v normálním provozu venkovního vedení,
 k_n – přídržný poměr ochrany a udává ho výrobce (nejnižší přípustná hodnota je 0,85),

$$k_t \text{ – proudový převod jisticích transformátorů proudu } k_t = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}.$$

2.2.2 Výpočet nastavení rozběhových proudů ochran působících při proudovém přetížení

Rozběhová hodnota proudu se vypočítá:

$$I_{2r} \geq \frac{k_b}{k_n \cdot k_t} \cdot I_n$$

kde k_b se volí takto:

$k_b = 1,05$ pro ochrany použité pouze pro signalizaci přetížení obsluze,

$k_b = 1,1$ až $1,2$ pro ochrany generátorů a transformátorů zapojené na vypínání nebo snížení zátěže (podle charakteru provozu),

$k_b = 1,2$ pro ochrany elektrických motorů,

I_n – jmenovitý primární proud chráněného zařízení.

Časové nastavení ochrany:

$$t = t_k + \Delta t$$

kde Δt je stupeň časové selektivity, který v případě přetížení je potřebné zvolit minimálně 1 s,
 t_k – časové nastavení nadproudové ochrany pro mezifázové zkraty.

3. Digitální ochrana SPAD 346 C

3.1 Aplikace

Stabilizovaná diferenciální ochrana SPAD 346 C je učena pro chránění dvouvinutových transformátorů a bloků generátor – transformátor při mezizávitových poruchách, zkratech mezi vinutím, zemních poruchách i zkratech a je určena pro chránění generátorů při zkratech mezi vinutím i při provozních zkratech. Ochrana může být také použita pro chránění třívínutového transformátoru za předpokladu, že zkratový výkon je ze 75% dodáván ze stejného směru.

3.2 Popis funkce

Integrovaná diferenciální ochrana SPAD 346 C se skládá ze tří nezávislých modulů ochrany: modul třífázové stabilizované diferenciální ochrany SPCD 3D53, modul ochrany pro zemní poruchy SPCD 2D55 a kombinovaný modul nadproudové ochrany a ochrany pro zemní poruchy SPCJ 4D28, na kterém jsem měřil vypínací charakteristiky.

Jmenovitý proud ochrany je 1 A nebo 5 A. pro strany VVN i VN je možné použít různých jmenovitých proudů.

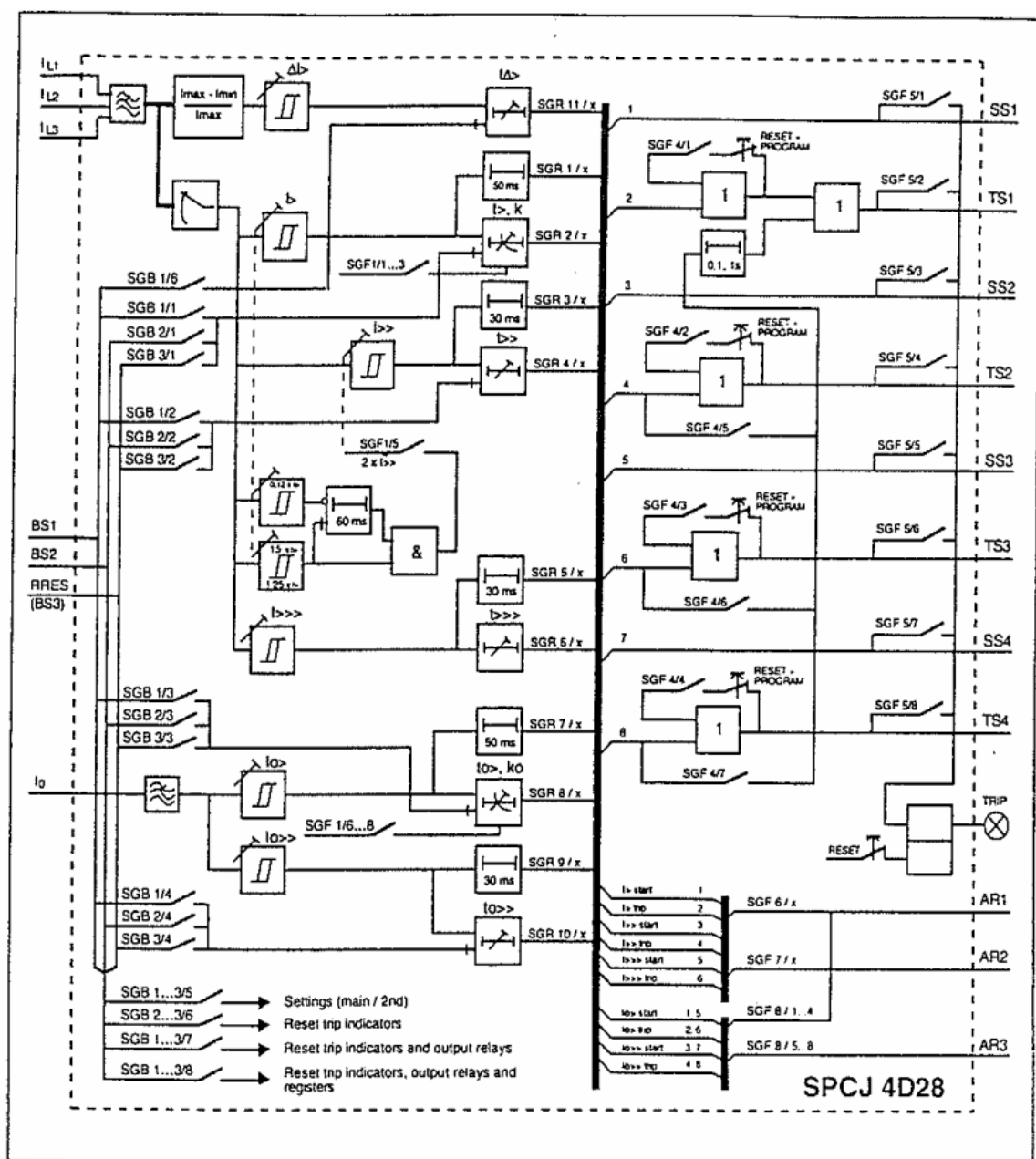
3.3 Kombinovaný modul nadproudové ochrany a ochrany pro zemní poruchy SPCJ 4D28

Nadproudová část kombinovaného modulu nadproudové ochrany pro zemní poruchy SPCJ 4D28 je určena pro chránění transformátorů a generátorů při jednofázových, dvoufázových a třífázových zkratech. Nadproudová ochrana obsahuje tři nadproudové stupně chránění: stupeň $I>$, stupeň $I>>$ a stupeň $I>>>$. K aktivaci nadproudového stupně dojde, pokud proud v jedné fázi překročí nastavenou hodnotu odpovídajícího stupně. Pokud tento provozní stav proudového zatížení trvá dostatečně dlouhou dobu, kdy uplyne časové zpoždění nastavené na modulu, je stupněm, který byl aktivován vygenerován vypínací signál na příslušný vypínač.

Část vyhodnocující zemní poruchy kombinovaného modulu nadproudové ochrany a ochrany pro zemní poruchy SPCJ 4D28 je určena pro použití jako nesměrová ochrana pro zemní poruchy a je vhodná jako záložní ochrana zemních poruch výkonových transformátorů. Část vyhodnocující zemní poruchy je vybavena dvoustupňovou ochranou: stupeň s nízkým nastavením I_0 a stupeň s vysokým nastavením $I_0>>$. Signál aktivace (popudu) obou stupňů lze přiřadit k požadovanému výstupnímu signálu. Pokud zemní porucha trvá i v době, kdy uplyne nastavený čas zpoždění, je stupněm aktivován příslušný výstupní signál.

Stupně s nižší nastavitelnou hodnotou $I>$ a $I_0>$ mohou mít jak časově závislé zpožděnou charakteristiku, tak časově nezávislou charakteristiku. Stupně s vyšší nastavitelnou hodnotou mají pouze časově nezávislý režim zpoždění. Působení různých stupňů lze zcela blokovat volbou odpovídajícího nastavení na konfiguračních přepínačích.

Kombinovaný modul nadproudové ochrany a ochrany pro zemní poruchy SPCJ 4D28 je navíc vybaven funkcí ochrany při nevyváženosti (diskontinuitě) fázových proudů $\Delta I>$. Ochrana při nevyváženosti fází lze použít pro monitorování provozních podmínek sítě. Při chránění výkonového transformátoru v zapojení Yy má ochrana fázové nevyváženosti přinejmenším signalizační funkci. V některých aplikacích lze u malých generátorů ochranu fázové nevyváženosti použít jako ochranu při nesymetrickém zatížení.



Obr.3.3 Blokové schéma modulu s nadproudovou funkcí a funkcí při zemních poruchách SPCJ 4D28

I_{L1} , I_{L2} , I_{L3}

I_0

$BS1$, $BS2$, $RRES$, $BS3$

SGF1 ... SGF8

SGB1 ... SGB3

SGR1 ... SGR11

SS1 ... SS4, TS1 ... TS4

AR1, AR2, AR3

TRIP

fázové proudy

nulový proud

externí signály pro blokování nebo reset

přepínačová skupina volby funkcí ochrany

přepínačová skupina volby externích ovládacích signálů

přepínačová skupina volby konfigurace výstupních relé

výstupní signály

signály aktivující opětové zapnutí

červený indikátor působení

Popis:

Trip – vypnutí

Start – popud

Settings (main/2nd) – nastavení (hlavní/druhé)

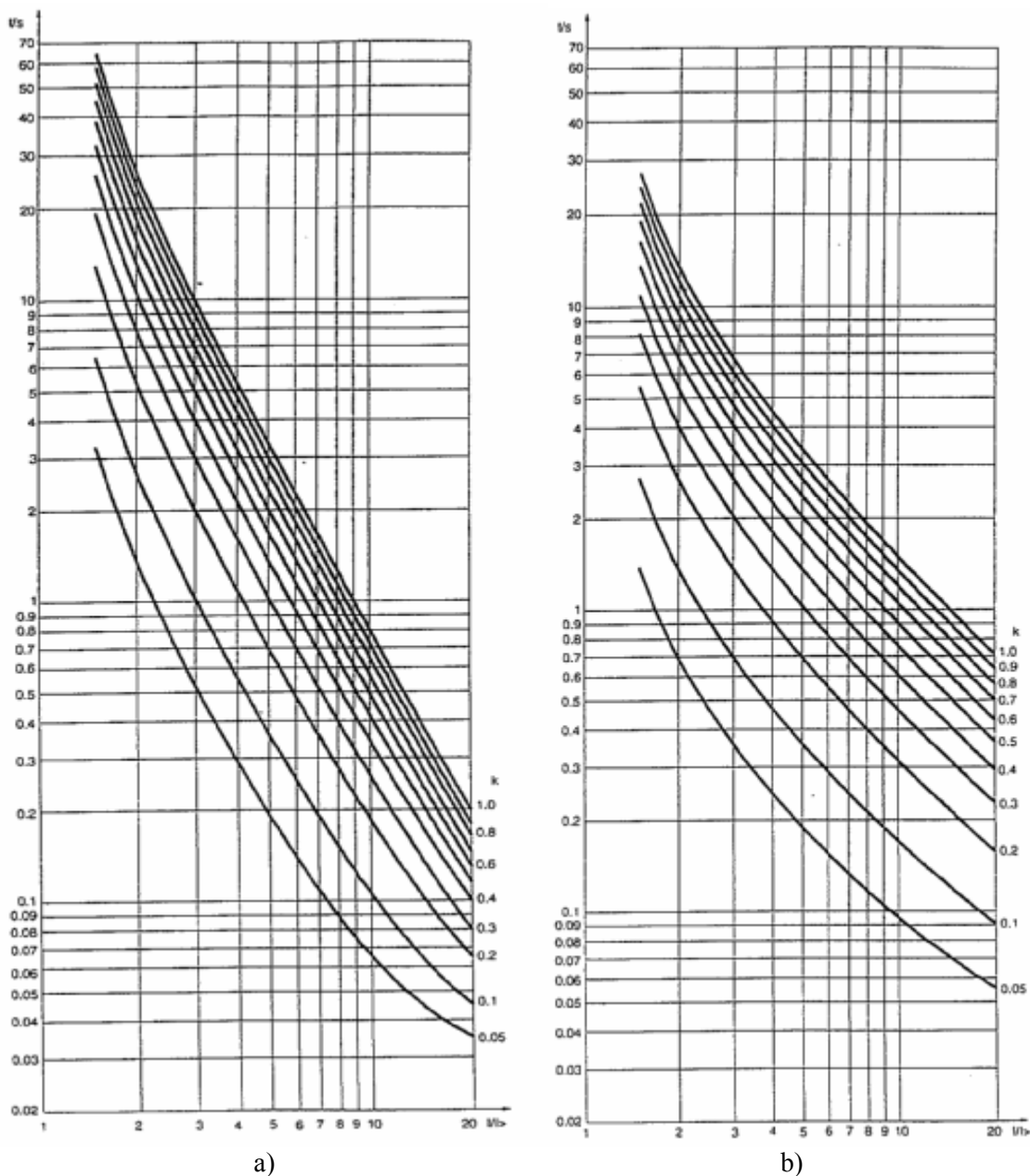
Reset trip indicators – reset indikátorů vypnutí

Reset trip indicators and output relays– reset indikátorů vypnutí a výstupních relé

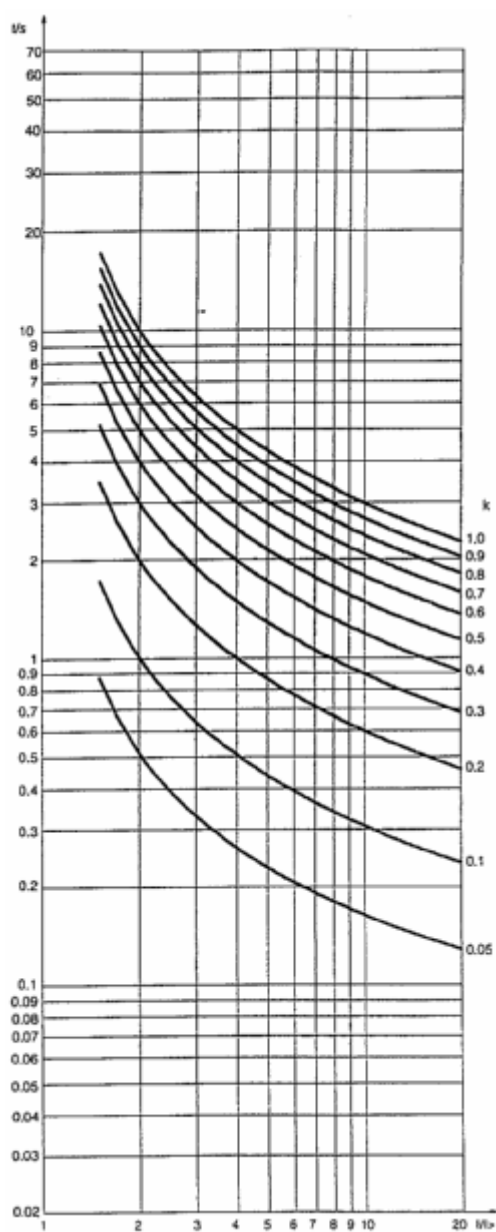
Reset trip indicators, output relays and registers– reset indikátorů vypnutí, výstupních relé a registrů

3.4 Vypínací charakteristiky nadproudové ochrany

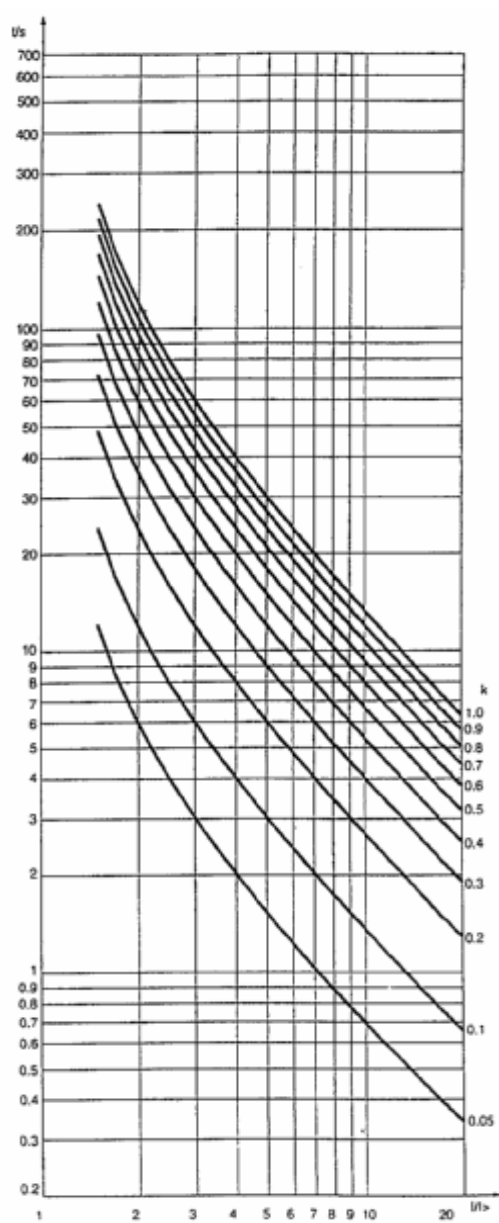
Zde jsou znázorněny grafy vypínacích charakteristik podle mezinárodních norem IEC 255 a BS 142.



Obr.3.4.1 Charakteristiky nadproudového stupně a stupně při zemní poruše modulu SPCJ 4D28
a) extrémně závislá b) velmi závislá



a)

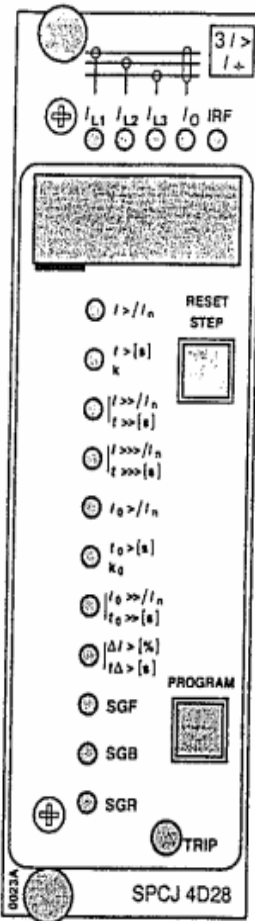


b)

Obr.3.4.2 Charakteristiky nadproudového stupně a stupně při zemní poruše modulu SPCJ 4D28
a) normálně závislá b) dlouhodobě závislá

3.5 Provozní indikátory

Každý ochranný stupeň má vyhrazený kód pro proud i působení. Tento kód je v číselné formě zobrazen na displeji na čelním panelu. Indikátor TRIP, umístěný vpravo ve spodní části čelního panelu, je společným indikátorem různých funkcí

<p>Indikátory fázových proudů a sumárního proudu nulových složek při proudovém měření a indikátory fázových poruch při působení ochrany.</p> <p>Indikátor popudového proudu stupně I></p> <p>Indikátor času působení $t>$ nebo násobícího faktoru časové konstanty k</p> <p>Indikátor popudového proudu stupně I>> a času působení $t>>$</p> <p>Indikátor popudového proudu stupně I>>> a času působení $t>>>$</p> <p>Indikátor popudového proudu stupně $I_{0>}$</p> <p>Indikátor času působení $t_{0>}$ nebo násobícího faktoru časové konstanty k_0</p> <p>Indikátor popudového proudu stupně $I_{0>>}$ a času působení $t_{0>>}$</p> <p>Indikátor popudového proudu stupně $\Delta I>$ a času působení $t\Delta>$</p> <p>Indikátor kontrolního součtu přepínačové skupiny SGF1 . . . 8</p> <p>Indikátor kontrolního součtu přepínačové skupiny SGB1 . . . 3</p> <p>Indikátor kontrolního součtu přepínačové skupiny SGR1 . . . 11</p>		<p>Symbol ochranné funkce</p> <p>IRF indikátor (vnitřní porucha ochrany) Displej</p> <p>Tlačítko STEP/RESET (krokování v menu na displeji / reset funkcí)</p> <p>Tlačítko PROGRAM (nastavení)</p> <p>Indikátor působení</p> <p>Typové označení modulu ochrany</p>
--	---	---

Obr.3.5 Čelní panel kombinovaného modulu nadproudové ochrany a ochrany při zemních poruchách SPCJ 4D28

Hodnoty nastavení je možno zobrazit na displeji. Startovací hodnota nadproudového článku je zadávána jako násobek jmenovitého proudu. Čas zpoždění nadproudového článku je vyjadřován v sekundách.

Dodatečné funkce se definují pomocí programovatelného voliče ochrany, spínačové skupiny SGF1. Tyto spínače jsou označeny čísla 1...8 a jejich polohy 0 a 1 zadáváme pomocí tlačítka STEP. Po nastavení zvolených funkcí se nám výsledná hodnota nastavení zobrazí na displeji.. Přepínače skupin SGF1 . . . 8, SGB1 . . . 3 a SGR1 . . . 11 se používají pro volbu doplňkových funkcí vyžadovaných příslušnou aplikací. Číslo přepínače 1 . . . 8 a jeho pozice 0 nebo 1 jsou zobrazeny během procesu nastavení těchto parametrů na displeji.

Tab.3.5.1 Tabulka funkcí jednotlivých spínačů

Přepínač	Funkce
SGF1/1, SGF1/2, SGF1/3	Časově nezávislá nebo časově závislá charakteristika stupně I>.
SGF1/4	Není použit.
SGF1/5	Automatické zdvojnásobení nastaveného proudového proudu stupně I>> při zapnutí chráněného objektu k síti.
SGF1/6, SGF1/7, SGF1/8	Časově nezávislá nebo časově závislá charakteristika stupně I ₀ >. Nastavení je shodné jak pro stupeň I>.
Σ SGF1	Kontrolní součet přepínačové skupiny pro nastavení z výroby.

Při volbě závislé charakteristiky je požadovaná časově/proudová charakteristika volena podle následující tabulky:

Tab.3.5.2 Upřesnění významu poloh spínačů SGF1/1 až SGF1/3

SGF1/1	SGF1/2	SGF1/3	Charakteristika časově:	Čas působení t> nebo čas./proudová charakteristika
0	0	0	nezávislá	0.05 . . . 300 s
1	0	0	závislá	Extrémně závislá
0	1	0	závislá	Velmi závislá
1	1	0	závislá	Normálně závislá
0	0	1	závislá	Dlouhodobě závislá
1	0	1	závislá	RI typ charakteristiky
0	1	1	závislá	RXIDG typ charakteristiky
1	1	1	- - - - -	(Dlouhodobě závislá)

Tab.3.5.3 Tabulka tolerance dob působení ochrany pro různé nastavené charakteristiky

I/I>	Normálně závislá charakteristika	Velmi závislá charakteristika	Extrémně závislá charakteristika	Dlouhodobě závislá charakteristika
2	2,22E	2,34E	2,44E	2,34E
5	1,13E	1,26E	1,48E	1,26E
7	-	-	-	1E
10	1,01E	1,01E	1,02E	-
20	1E	1E	1E	-

3.6 Technické data

Stupeň I>

Popudový proud

- nezávislé časové zpoždění

0,5 . . . 5,0 x I_n

- závislé časové zpoždění

0,5 . . . 2,5 x I_n

Typický čas popudu

70 ms

Čas působení – nezávislé časové zpoždění

0,05 . . . 300 s

Násobící faktor časové konstanty – k

0,05 . . . 1,0

Typický čas RESETu

40 . . . 1000 ms

Čas zpomalení

30 ms

Typický přídržný poměr

0,96

Přesnost času působení – režim

$\pm 2\%$ nastavené hodnoty

nezávislého časového zpoždění

nebo ± 25 ms

Třída přesnosti / index E – režim závislého zpoždění

5

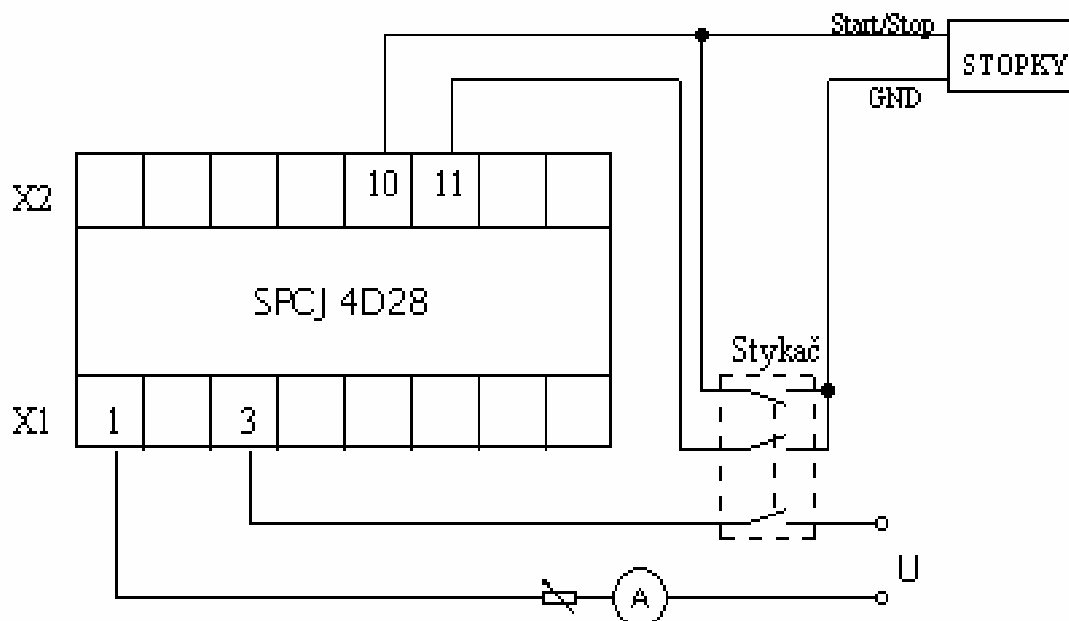
Přesnost působení

$\pm 3\%$ nastavené hodnoty

4. Kontrola charakteristik modulu SPCJ 4D28

V tomto bodě jsem proměřil všechny vypínací charakteristiky (normálně závislou, velmi závislou, extrémně závislou, dlouhodobě závislou a nezávislou charakteristiku) modulu SPCJ 4D28. Nejprve jsem si zvolil násobky nastaveného proudu 1 A a poté jsem si vypočítal teoretické hodnoty časů pomocí vzorce a tabulky, při kterých má ochrana zapůsobit. Po výpočtech jsem jednotlivé závislé charakteristiky odměřil pomocí laboratorních stopek.

U nezávislé charakteristiky jsem si zvolil popudový proud 1 A a časy kdy ochrana má zapůsobit (viz. Tab.XXX)



Obr.4.1 Schéma zapojení digitální ochrany SPCJ 4D28

Použité přístroje:

Reostat – $R = 16 \Omega$, 10 A, typ: POD60P7

Ampérmetr – Metex M3650CR, v.č. DJ036104

Laboratorní stopky – v.č. 51400419

Stykač

4.1 Proudově závislé charakteristiky

Nadproudovou charakteristiku stupně $I>$ je možné měnit. Proudově závislé charakteristiky mají charakteristický průběh, při nižším nadproudu má článek delší zpoždění než při nadproudu hodně převyšujícím startovací hodnotu článku. Vztah popisující tuto charakteristiku je následující:

$$t(s) = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I>}\right)^\alpha - 1} \quad (4.1.1)$$

kde: t = čas působení
 k = násobící faktor časové konstanty
 I = hodnota fázového proudu
 $I>$ = nastavená proudová hodnota

Tab.4.1.1 Hodnoty konstant α a β ze vztahu 4.1.1 pro různé charakteristiky

Skupina časově / proudových charakteristik	α	β
Normálně závislá	0,02	0,14
Velmi závislá	1,0	13,5
Extrémně závislá	2,0	80,0
Dlouhodobě závislá	1,0	120,0

Dle normy BS 142.1966 je normální rozsah proudu definován 2 až 20-ti násobkem nastavené hodnoty. Dále musí ochrana nastartovat, když hodnota proudu překročí nastavenou hodnotu $1,3 \times$ při charakteristice čas/proud normálně inverzní, velmi inverzní nebo extrémně inverzní. Je-li charakteristika dlouhodobě inverzní, je podle normy normální rozsah 2 až 7 násobek nastavené hodnoty a ochrana musí nastartovat při proudu vyšším než $1,1$ nastavené hodnoty.

4.2 Normálně závislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany

Příklad výpočtu teoretického času zapůsobení ochrany:

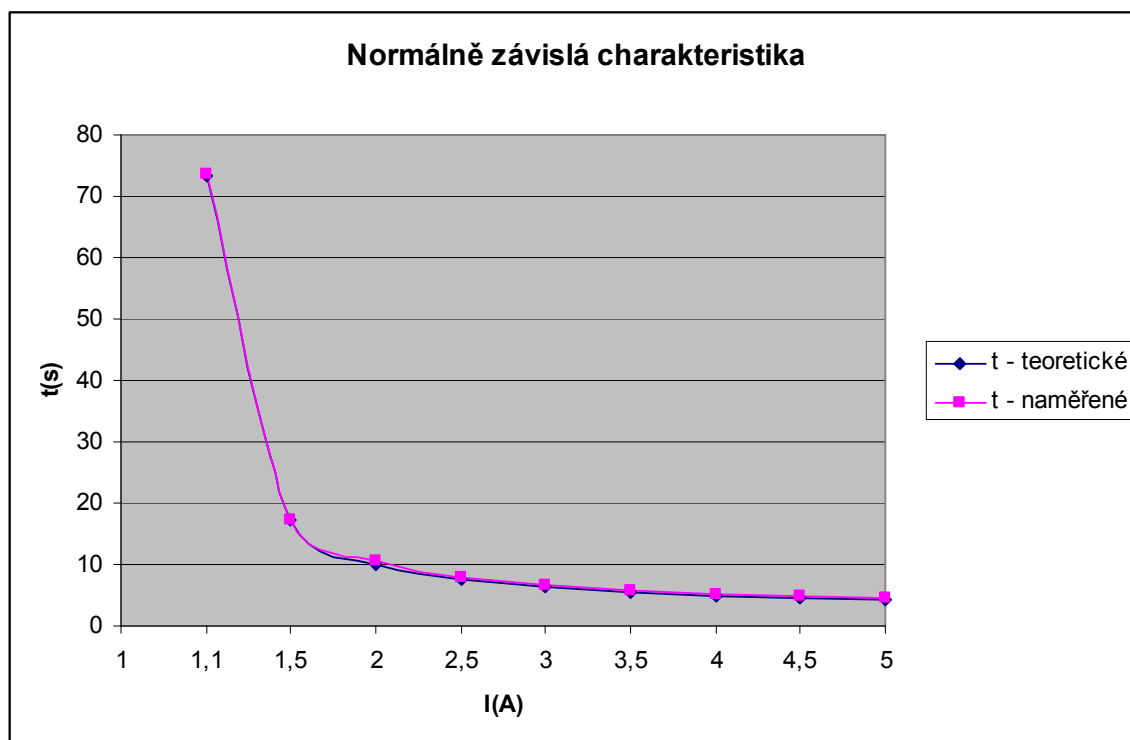
$$t_{teor} = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{1,0,14}{\left(\frac{3}{1}\right)^{0,02} - 1} = 6,3s \quad (4.2.1)$$

Příklad výpočtu relativní chyby ochrany:

$$\delta_t = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{6,7 - 6,3}{6,3} \cdot 100 = 6,35\% \quad (4.2.2)$$

Tab.4.2 Hodnoty pro normálně závislou charakteristiku

I/I>	t _{teor.}	t _{nam.}	δ _t	t _{dov.}
(A)	(s)	(s)	(%)	(s)
1,1	73,37	73,59	0,30	±2,2
1,5	17,19	17,3	0,64	±0,52
2	10,03	10,54	5,08	±0,3
2,5	7,57	7,95	5,02	±0,23
3	6,3	6,7	6,35	±0,19
3,5	5,53	5,86	5,97	±0,17
4	4,99	5,21	4,41	±0,15
4,5	4,58	4,83	5,46	±0,14
5	4,29	4,51	5,13	±0,13



4.3 Velmi závislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany

Příklad výpočtu teoretického času zapůsobení ochrany:

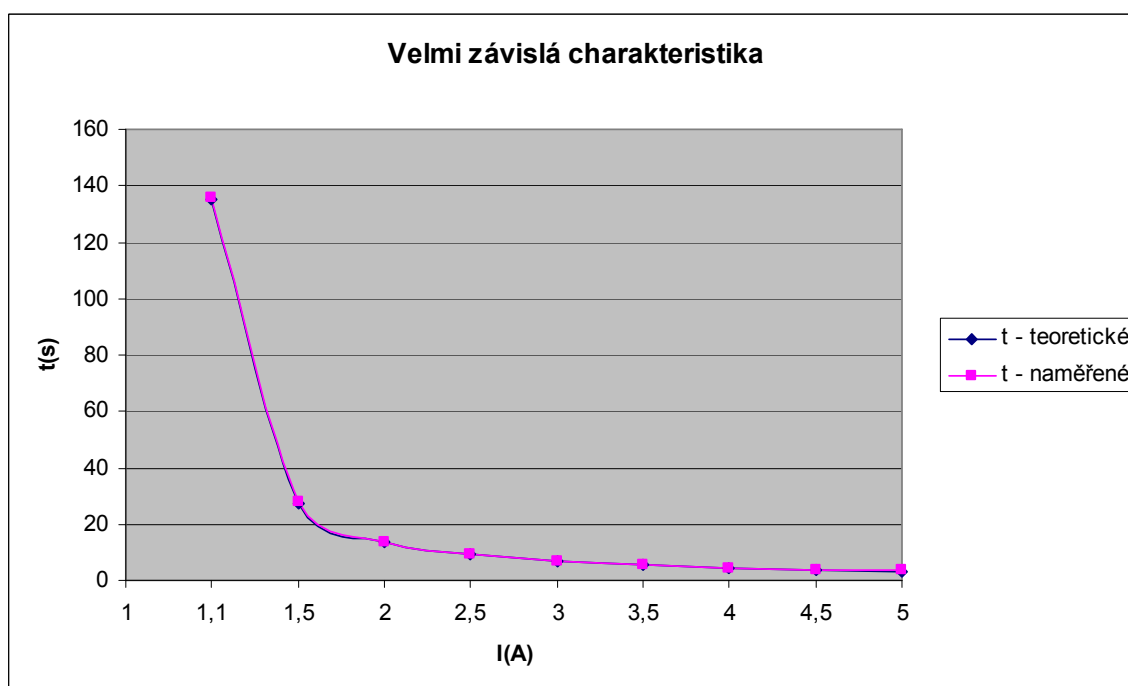
$$t_{teor} = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^\alpha - 1} = \frac{1 \cdot 13,5}{\left(\frac{3}{1}\right)^1 - 1} = 6,75s \quad (4.3.1)$$

Příklad výpočtu relativní chyby ochrany:

$$\delta_t = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{7,03 - 6,75}{6,75} \cdot 100 = 4,15\% \quad (4.3.2)$$

Tab.4.3 Hodnoty pro velmi závislou charakteristiku

I/I>	t _{teor.}	t _{nam.}	δ _t	t _{dov.}
(A)	(s)	(s)	(%)	(s)
1,1	135	135,54	0,40	±4,1
1,5	27	27,98	3,63	±0,81
2	13,5	13,89	2,89	±0,41
2,5	9	9,34	3,78	±0,27
3	6,75	7,03	4,15	±0,2
3,5	5,4	5,62	4,07	±0,16
4	4,5	4,64	3,11	±0,13
4,5	3,86	4,01	3,97	±0,12
5	3,38	3,52	4,30	±0,1



4.4 Extrémně závislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany

Příklad výpočtu teoretického času zapůsobení ochrany:

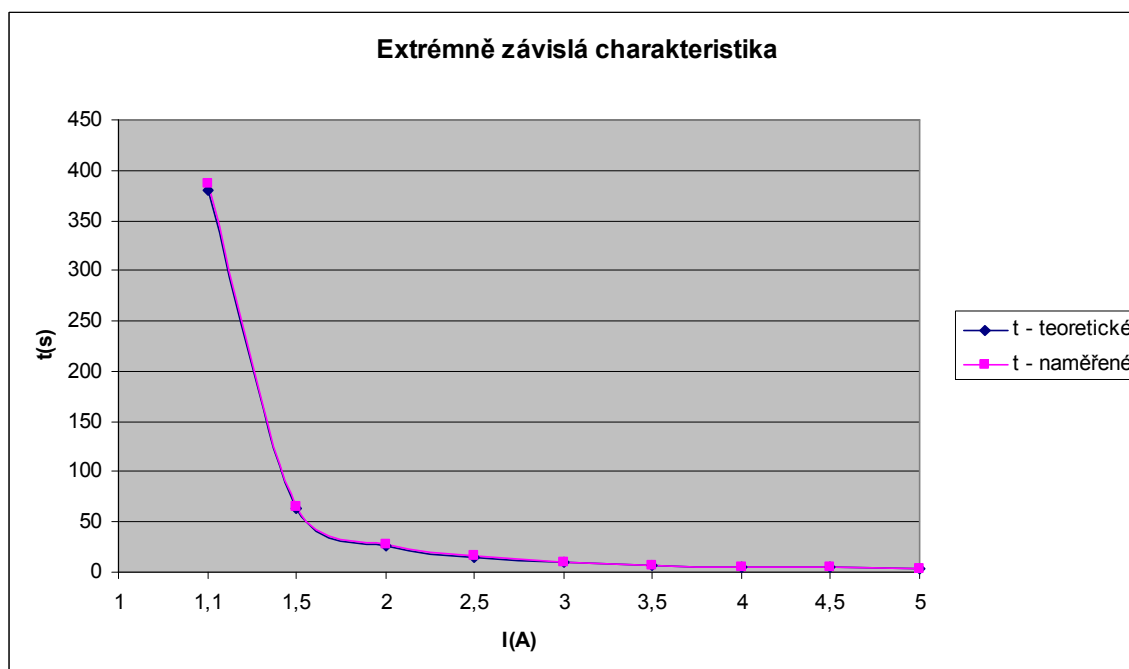
$$t_{teor} = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^\alpha - 1} = \frac{1,80}{\left(\frac{3}{1}\right)^2 - 1} = 10s \quad (4.4.1)$$

Příklad výpočtu relativní chyby ochrany:

$$\delta_t = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{10,22 - 10}{10} \cdot 100 = 2,2\% \quad (4.4.2)$$

Tab.4.2 Hodnoty pro extrémně závislou charakteristiku

I/I>	t _{teor.}	t _{nam.}	δ _t	t _{dov.}
(A)	(s)	(s)	(%)	(s)
1,1	380,95	386,35	1,42	±11,43
1,5	64	65,2	1,88	±1,92
2	26,67	27,23	2,10	±0,8
2,5	15,24	15,58	2,23	±0,46
3	10	10,22	2,20	±0,3
3,5	7,11	7,28	2,39	±0,21
4	5,33	5,49	3,00	±0,16
4,5	4,16	4,26	2,40	±0,12
5	3,33	3,42	2,70	±0,1



4.5 Dlouhodobě závislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany

Příklad výpočtu teoretického času zapůsobení ochrany:

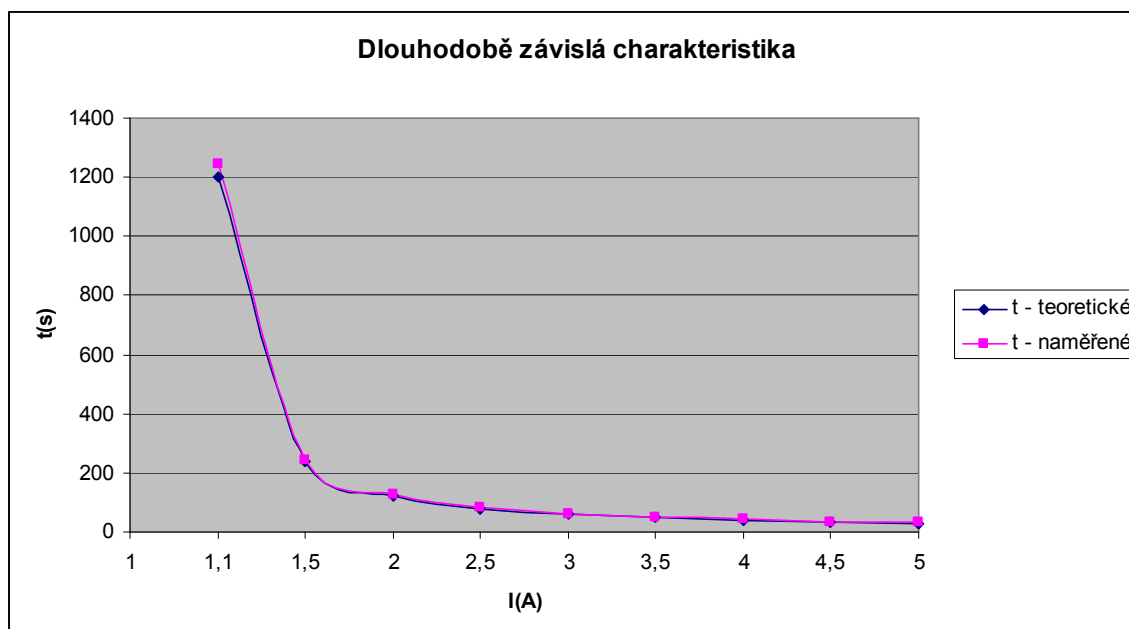
$$t_{teor} = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^{\alpha} - 1} = \frac{1 \cdot 120}{\left(\frac{3}{1}\right)^1 - 1} = 60s \quad (4.5.1)$$

Příklad výpočtu relativní chyby ochrany:

$$\delta_t = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{62,79 - 60}{60} \cdot 100 = 4,65\% \quad (4.5.2)$$

Tab.4.5 Hodnoty pro dlouhodobě závislou charakteristiku

I/I>	t _{teor.}	t _{nam.}	δ _t	t _{dov.}
(A)	(s)	(s)	(%)	(s)
1,1	1200	1247,18	3,93	±12
1,5	240	242,78	1,16	±7,2
2	120	125,46	4,55	±3,6
2,5	80	83,6	4,50	±2,4
3	60	62,79	4,65	±1,8
3,5	48	50,24	4,67	±1,44
4	40	41,88	4,70	±1,2
4,5	34,29	35,78	4,35	±1,03
5	30	31,05	3,50	±0,9



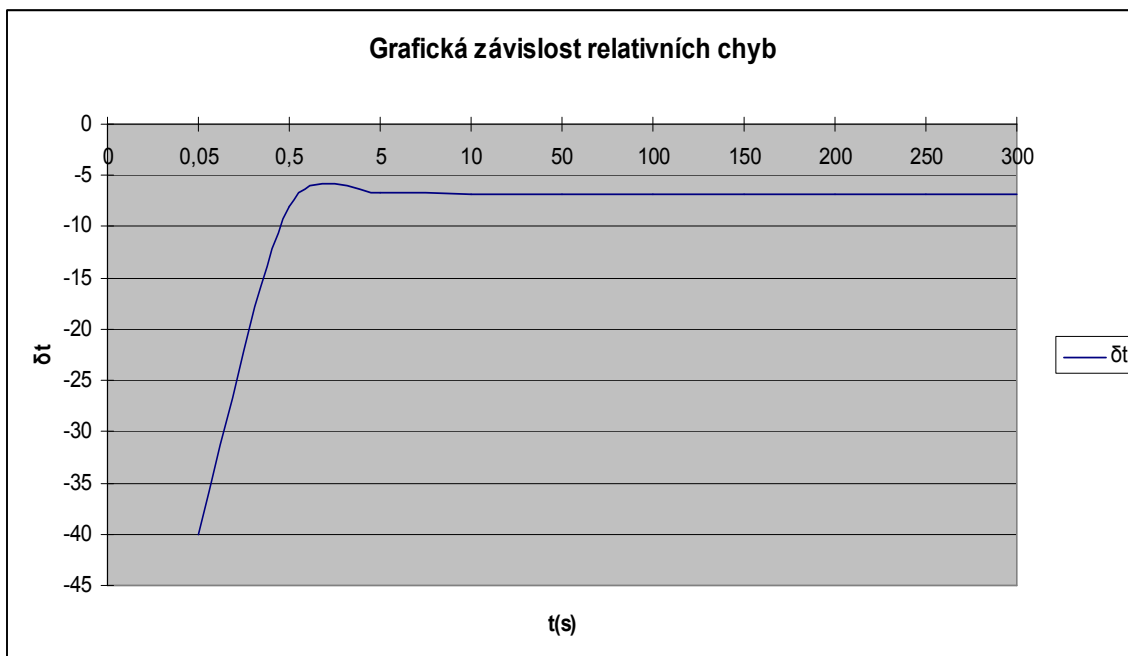
4.6 Nezávislá vypínací charakteristika nadproudové ochrany

Příklad výpočtu relativní chyby ochrany:

$$\delta_t = \frac{t_{nam.} - t_{teor.}}{t_{teor.}} \cdot 100 = \frac{100 - 106,82}{106,82} \cdot 100 = -6,82\% \quad (4.6.1)$$

Tab.4.6 Hodnoty pro nezávislou charakteristiku

$t_{teor.}$	$t_{nam.}$	δ_t	$t_{dov.}$
(s)	(s)	(%)	(s)
0,05	0,07	-40	$\pm 0,001$
0,5	0,54	-8	$\pm 0,01$
5	5,33	-6,6	$\pm 0,1$
10	10,68	-6,8	$\pm 0,2$
50	53,42	-6,84	± 1
100	106,82	-6,82	± 2
150	160,28	-6,85	± 3
200	213,68	-6,84	± 4
250	267,07	-6,83	± 5
300	320,51	-6,84	± 6



5. Zhodnocení naměřených výsledků

U časově závislých charakteristik má být přesnost působení ochrany dle manuálu $\pm 3 \%$ nastavené hodnoty. Tuhle dovolenou odchylku jsem uvedl i v tabulkách na porovnání s naměřenými časy. V praxi se ovšem vešla do této tolerance pouze extrémně závislá charakteristika. U normálně závislé charakteristiky se nám objevila největší relativní chyba ochrany a to $6,35 \%$ pro trojnásobek nastaveného popudového proudu. Celkově se u této charakteristiky objevily pouze dvě naměřené hodnoty v dané toleranci a to pro $1,1 I/I>$ a $1,5 I/I>$ u zbylých hodnot byly naměřené časy vyšší než dovolené časy. Velmi závislá charakteristika měla nejvyšší relativní chybu $4,15 \%$ a společně s dalšími pěti nastavenými hodnotami se nevešla do tolerance přesnosti působení ochrany. U dlouhodobé charakteristiky jsem naměřil jen jednu hodnotu v toleranci a to pro nastavenou hodnotu $1,5 I/I>$.

U časově nezávislé charakteristiky jsem si určil časy v maximálním rozsahu a to od $0,05$ s do 300 s. Výrobce v manuálu udává přesnost času působení $\pm 2 \%$, což se nám ovšem z měření nepotvrdilo. Největší relativní chybu jsem naměřil pro nastavený čas $0,05$ s, kdy se laboratorní stopky zastavily na hodnotě $0,07$ s, což znamená, že výsledná relativní chyba se rovná -40% . Tato chyba je způsobená i díky velmi krátkému času. U zbylých nastavených hodnot se relativní chyba pohybovala v rozmezí od -8% do $-6,6 \%$.

Naměřené časy ochrany jsou ovlivněny různými faktory. Mezi ně patří ovlivnění času použitými přístroji. Stykač, který přerušoval obvod pracuje s nějakým zpožděním, to znamená že stopky nereagovaly okamžitě na impuls ochrany. Dalším přístrojem, který mohl ovlivnit měření byl použitý multimetr, pomocí kterého jsem nastavoval proud. Nastavení hodnoty popudového proudu na ovládacím stole a reostatu také nebylo ideální a mnohdy se hodnota zobrazující se na displeji ampérmetru pohybovala v rozmezí ± 10 mA, což také mohlo ovlivnit výsledný čas.

Závěr

Práce má posloužit k pochopení ochran, jejich nastavení a činnosti. Celkově se zaměřuje na digitální nadproudovou ochranu SPAD 346 C a její modul SPCJ 4D28.

Za úkol v této práci jsem měl nastavit a proměřit vypínací charakteristiky a to jak časově závislé, tak i časově nezávislou charakteristiku modulu SPCJ 4D28. U časově závislých charakteristik jsem proměřil čtyři typy a to normálně závislou, velmi závislou, extrémně závislou a dlouhodobě závislou charakteristiku. Výsledné naměřené i teoretické hodnoty jsem uvedl v tabulkách a poté je vynesl do grafů. Z těchto údajů je patrné, že ochrana pracuje s určitou chybou a také že výsledné údaje byly ovlivněny některými použitými přístroji.

Ochrana je velmi snadno nastavitelná pomocí manuálu, který je dobře zpracovaný. Použití této ochrany je doporučované pro chránění transformátorů a generátorů při jednofázových, dvoufázových a třífázových zkratech.

Použitá literatura:

- 1) Janíček, F. a kol.: Digitálne ochrany v elektrizačnej ústave. STU Bratislava, 2004.
- 2) Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
- 3) Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
- 4) Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení. Skripta VŠB Ostrava, 1993.
- 5) Hradílek, Z.: Elektroenergetika II. Skriptum VŠB Ostrava, 1993.
- 6) ČSN 33 3051 – Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
- 7) Firemní literatura a katalogy firmy ABB, s.r.o.